

Effet de couches protectrices sur les résistances DuPont 20x1

Propriétés (valeur et coefficient en température) sur alumine des résistances DuPont 2021, 2031, 2041 et 2051 recouvertes de diverses couches protectrices.

Eigenschaften (Wert und Temperaturkoeffizient) auf Al_2O_3 von DuPont 2021, 2031, 2041 und 2051 – Widerstände, bedeckt mit verschiedenen Schutzschichten.

Thomas Maeder, 4.7.2000

Projet: TEPLAZID; référence pour d'autres projets

Mots-clefs: résistances, couches protectrices, dégradation, altération, diffusion, budget thermique.

1. Introduction2
2. Expériences.....2
3. Résultats4
4. Conclusions19

Résumé

Trois couches protectrices ont été essayées sur la série de compositions résistives Du Pont 20x1: les verrages ESL G-481 et Du Pont QQ600 (cuisson à env. 600°C), ainsi que le diélectrique Du Pont QM42 (cuisson à 850°C). Dans cette étude, les terminaisons Du Pont 5104 (Ag: Pd 3:1) et 5744 (Au) ont été utilisées. Les deux verrages sont compatibles avec les résistances; ils en modifient légèrement la valeur et les coefficients en température, et cela de façon très reproductible. En revanche, le diélectrique Du Pont QM42 modifie beaucoup trop les résistances. De plus, il tend à détruire les jonctions résistance – terminaisons, surtout dans les cas de Du Pont 5104 (Ag: Pd). On donc pas l'utiliser comme couche protectrice avec ces résistances et ces terminaisons.

Kurzfassung

Drei Schutzschichten wurden für Du Pont 20x1 – Widerstände probiert: die beiden Schutzgläser ESL G-481 und Du Pont QQ600 (Einbrand um 600°C), und das Dielektrikum Du Pont QM42 (Einbrand bei 850°C). In dieser Studie kamen die Terminierungen Du Pont 5104 (Ag: Pd 3:1) und 5744 (Au) zum Einsatz. Beide Schutzgläser sind gut mit den Widerständen kompatibel; sie ändern deren Wert und Temperaturkoeffizienten nur leicht, und dies sehr reproduzierbar. Dagegen ändert das Dielektrikum Du Pont QM42 die Widerstände zu viel. Dazu zerstört es die Übergänge von Widerstandspaste zu Terminierung, besonders auf Du Pont 5104 (Ag: Pd). Man kann QM 42 deshalb als Schutzschicht für diese Widerstände / Terminierungen nicht einsetzen.

1. Introduction

Afin de protéger les résistances hybrides, on utilise dans la plupart des cas des couches protectrices. Celles-ci consistent habituellement en des *verrages*, c'est-à-dire des couches de verre mises en œuvre à basse température (500–600°C). En général, on a un compromis entre la variation des caractéristiques des résistances (plus faible si la température de cuisson du verrage est faible) et la stabilité / l'herméticité de la couche protectrice (meilleures pour les compositions à haute température de cuisson). L'objet de cette étude est la comparaison de deux verrages "hermétiques", conçus pour être cuits aux alentours de 600°C, et d'un diélectrique multicouche, en tant que couches de protection possibles pour la série résistive Du Pont 20x1.

2. Expériences

Substrats

Les substrats sont en alumine "standard" 96% (Kyocera A–476, Haldemann & Porret), d'épaisseur 0.64 mm.

Circuit et pâtes

Le circuit "test patterns" est utilisé ici. Il a comme caractéristiques principales:

- Largeur de résistances 0.6 et 1.5 mm.
- Longueur de résistances 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.5 et 5.0 mm.
- 2 niveaux de conducteurs (terminaisons des résistances), usuellement AgPd et Au.
- 4 zones équivalentes par substrat = 4 (8 = 4 * 2 pour la longueur 0.8 mm) résistances nominalement identiques par substrat.

Les terminaisons "standard" Du Pont (DP) ont été utilisées ici: DP 5104 (Ag:Pd 3:1) et DP 5744 (Au). Les résistances sont les 4 membres les plus courants de la famille DP 20x1: DP 2021 (100 Ω), 2031 (1 kΩ), 2041 (10 kΩ) et 2051 (100 kΩ). Les 2 premières couches de protection sont deux verrages "600°C": ESL G–481 et DP QQ600. La dernière couche essayée est le diélectrique multicouche DP QM42, cuit à 850°C. Pour chaque combinaison, 1 substrat a usuellement été fabriqué, avec quelques exceptions. Le tableau 2–I ci-dessous recense les numéros de substrat pour chaque combinaison. Dans le cas de DP QM42, des substrats ont aussi été recuits selon le même profil que la cuisson de DP QM42, mais sans DP QM42 sur les résistances, afin de différentier l'effet de l'interaction chimique résistance-diélectrique des autres facteurs.

Couche de protection → Résistance ↓	ESL G–481	DP QQ600	DP QM42
DP 2021 (100 Ω)	99-075	99-081	-
DP 2031 (1 kΩ)	99-076	99-082	99-085
DP 2041 (10 kΩ)	99-079	99-080	99-083, 99-084 99-059*, 99-069*, 99-070*
DP 2051 (100 kΩ)	99-078	99-077	99-086

Tableau 2-I. Liste des échantillons (référence des substrats). *: recuit aux mêmes conditions que la cuisson de DP QM42, mais sans DP QM42

- La séquence suivante a été utilisée pour la fabrication:
- 1) sérigraphie et cuisson de DP 5104 (Ag:Pd)
 - 2) sérigraphie et cuisson de DP 5744 (Au)
 - 3) sérigraphie et cuisson de DP 2021, 2031, 2041 ou 2051
 - 4) sérigraphie et cuisson de ESL G-481, DP QQ600 ou DP QM42.

Cuisson

Les substrats ont été cuits posés directement sur la bande du four Sierratherm de l'IPM (résistances vers le haut). Le profil standard « 30MN_PR » (tableau 2-II) a été utilisé pour toutes les terminaisons et résistances (3 cuissons). Ce profil donne un pic d'env. 10 min à 850°C. Le diélectrique DP QM42 a aussi été cuit selon ce profil. Pour les verrages, un profil spécifique a été utilisé, "DU_600" pour DP QQ600 et "ESL_600" pour ESL G-481. Les réglages correspondants du four sont donnés au tableau 2-II ci-dessous:

Profil	Température nominale [°C]	Vitesse de bande [cm/min]	Zone 1 [°C]	Zone 2 [°C]	Zone 3 [°C]	Zone 4 [°C]	Zone 5 [°C]	Zone 6 [°C]
30MN_PR	850	8.67	540	765	866	867	876	890
DU_600	600	9.75	270	375	610	650	650	480
ESL_600	590	8.67	320	500	595	603	610	625

Tableau 2-II. Réglages du four Sierratherm pour les profils utilisés.

Mesures

Les résistances ont été mesurées dans l'armoire climatique Vötsch, à -25°C, +25°C et +100°C, afin de déterminer valeurs et coefficients en température. La valeur nominale de la résistance carrée R_c est donnée à +25°C, et correspond à la moyenne des résistances équivalentes, 4 dans la plupart des cas.

$$R_c = \frac{b}{l} \cdot R$$

R_c

résistance carrée

R

résistance à +25°C

b

largeur de la résistance

l

longueur de la résistance (entre terminaisons)

A partir des mesures supplémentaires à -25°C et +100°C, on tire les coefficients en température à „froid“ et à „chaud“ $CTCR$ et $HTCR$:

$$CTCR = \frac{R_{-25^{\circ}C} - R_{+25^{\circ}C}}{-R_{+25^{\circ}C} \cdot 50^{\circ}C}$$
$$HTCR = \frac{R_{+100^{\circ}C} - R_{+25^{\circ}C}}{R_{+25^{\circ}C} \cdot 75^{\circ}C}$$

$CTCR$

coefficient en température à froid, entre +25°C et -25°C

$HTCR$

coefficient en température à chaud, entre +25°C et +100°C

$R_{-25^{\circ}C, +25^{\circ}C, +100^{\circ}C}$

valeur de la résistance, à resp. -25°C, +25°C, et +100°C

Ici, les valeurs ont été mesurées avant et après la déposition et cuisson de la couche protectrice, afin de pouvoir évaluer l'effet de cette dernière sur les résistances.

3. Résultats

Etat initial, sans couche de protection

Les valeurs (résistances carrées) des 4 compositions résistive après cuisson (sans couche de protection) sont données à titre de référence aux figures 3–1 à 3–4, et les coefficients en température initiaux sont comparés aux figures 3–5 à 3–8.

En général, cette série résistive présente de bonnes propriétés de terminaison, sauf DP 2021 (100 Ω) vis-à-vis de l'AgPd : le coefficient en température devient très élevé pour les faibles longueurs.

Effet de ESL G–481 et DP QQ600

Les variations relatives de la valeur et absolues des coefficients en température sont données aux figures 3–9 à 3–14 pour ESL G–481 et aux figures 3–15 à 3–20 pour DP QQ600, les deux verrages cuits aux alentours de 600°C. Une comparaison des résistances les plus longues (5 mm) est aussi donnée aux figures 3–27 et 3–28.

Ces verrages altèrent peu les résistances, ESL G–481 ayant moins d'influence que DP QQ600. La valeur baisse en général de quelques % (max. 6 pour DP QQ600 sur DP 2041), et les coefficients en température sont légèrement décalés (max. 15 ppm/K pour DP QQ600 sur DP 2041) pour les longues résistances. De plus, ces décalages sont très reproductibles, ce qui laisse supposer que les ajustements effectués avant verrage seront dans une large mesure conservés.

En revanche, il subsiste un effet de terminaison avec AgPd. De plus, comme nous n'avons pas effectué de recuits sans verrage avec ces profils, il ne nous est pas possible de séparer la contribution du recuit (réactions de la résistance avec substrat et terminaisons, et évolution intrinsèque) de celle de la réaction chimique avec le verrage.

En conclusion, on peut dire que ces deux verrages sont compatibles avec la série DP 20x1. Sur la base de la variation des caractéristiques uniquement, on choisirait plutôt ESL G–481, d'autant plus que la cuisson de DP QQ600 semble un peu plus critique. Bien entendu, d'autres considérations, telles que l'herméticité ou la stabilité à divers agents chimiques pourront influencer ce jugement dans le futur.

Effet de DP QM42

Les variations relatives de la valeur et absolues des coefficients en température sont données aux figures 3–21 à 3–26. L'effet sur les résistances les plus longues (5 mm) est aussi donné à la fig. 3–29.

Contrairement aux deux verrages, le diélectrique DP QM42 influence très fortement les résistances, tant la valeur que sa dépendance de la température. De plus, une dégradation des contacts résistance–AgPd (*blisters*) est observée, ce qui se traduit aussi par un effet de terminaison extrêmement important. Sur or, l'effet de terminaison est faible, voire nul.

Sur DP 2041, on dispose aussi d'un échantillon de référence, recuit avec le même profil, mais sans DP QM42 sur les résistances. La comparaison (recuit avec ou sans diélectrique) permet de vérifier que ces deux effets sont effectivement dus à l'interaction diélectrique–résistance, et non au recuit seulement :

- Contrairement à l'échantillon recouvert par DP QM42, on n'observe pas de dégradation des terminaisons sur l'échantillon simplement recuit sans diélectrique.
- La valeur des résistances diminue au court d'un simple recuit, alors qu'elle augmente avec DP QM42 (env. –15% contre +20% pour les résistances longues / avec terminaisons Au).

En revanche, les variations des coefficients en température sont à peu près identiques : env. +15 ppm/K (DP 2041) en l'absence d'effet de terminaison.

En conclusion, DP QM42 modifie trop les résistances. De plus, il tend à détruire les terminaisons AgPd, ce qui limite de toute façon son champ d'application.

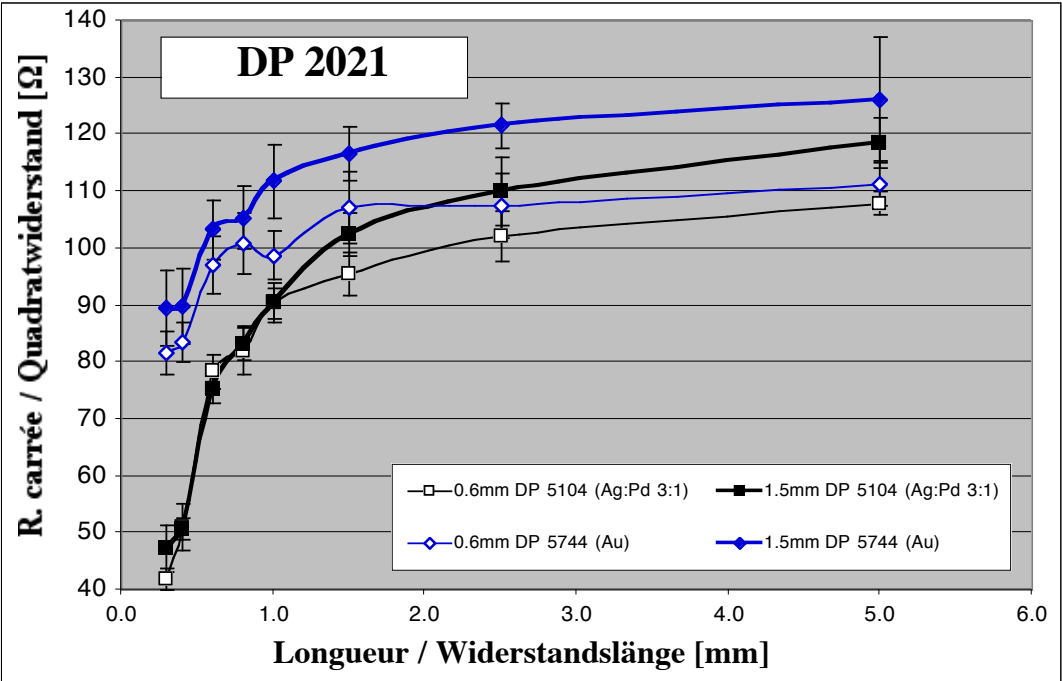


Figure 3–1. Valeur de DP 2021 (sans couche de protection), en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

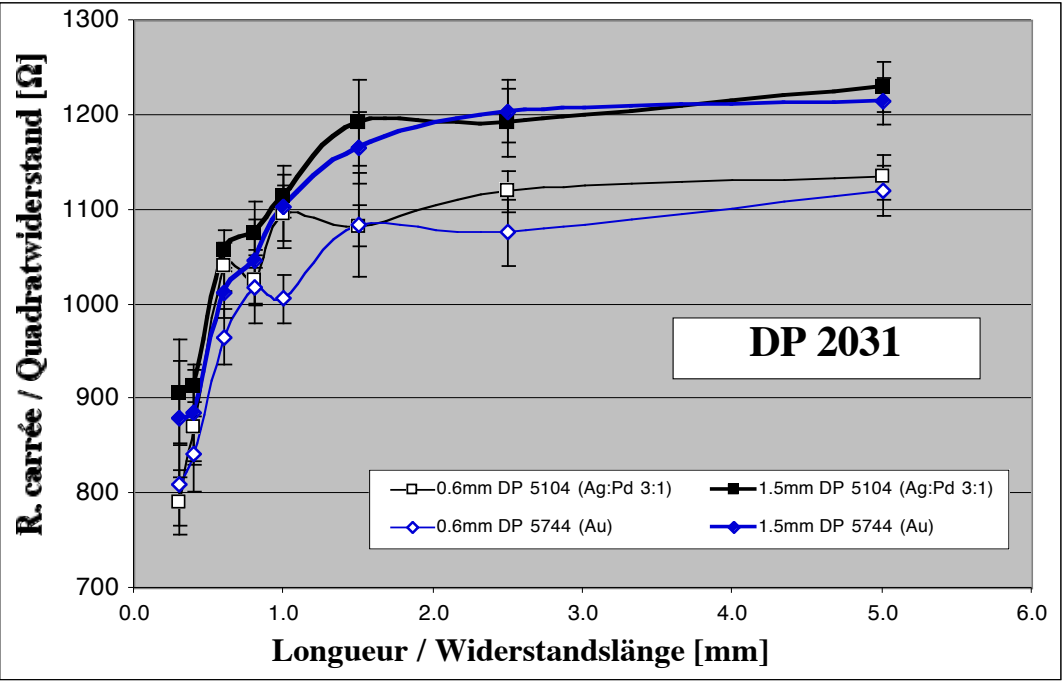


Figure 3–2. Valeur de DP 2031 (sans couche de protection), en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

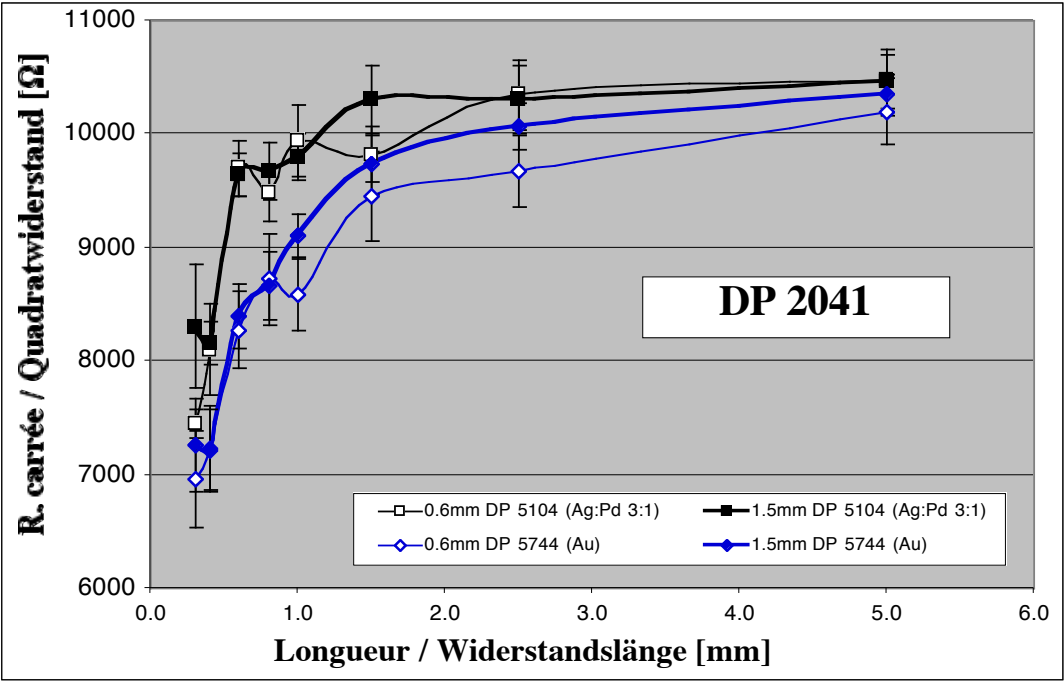


Figure 3–3. Valeur de DP 2041 (sans couche de protection), en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

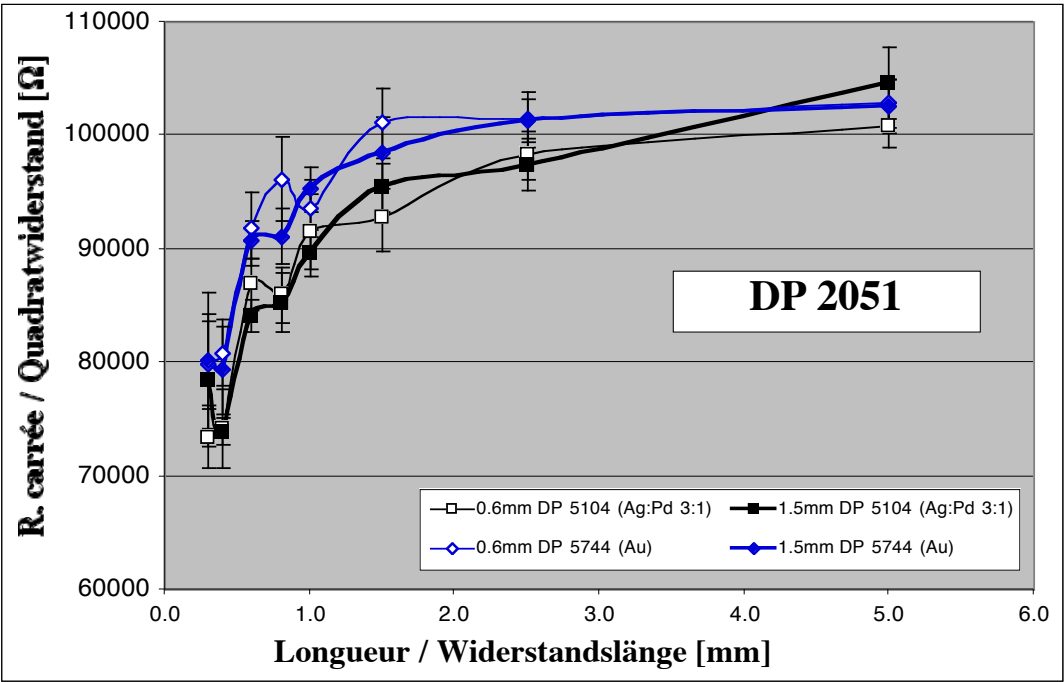


Figure 3–4. Valeur de DP 2051 (sans couche de protection), en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

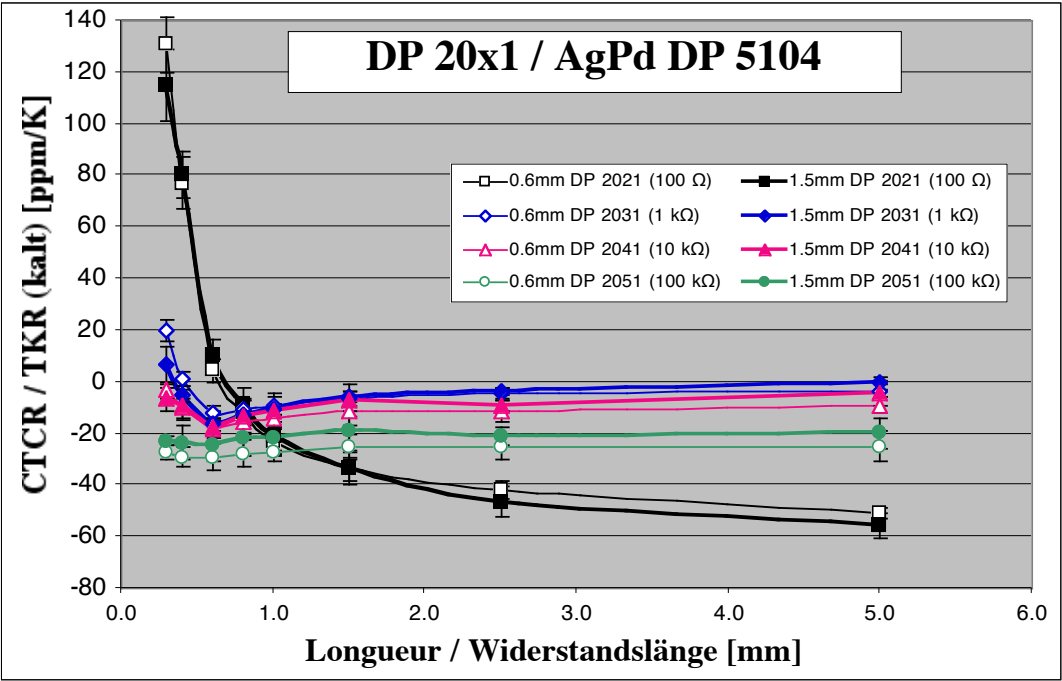


Figure 3–5. Coefficient en température à froid *CTCR* de la série DP 20x1 (sans couche de protection), en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1). Barres d’erreur = écart-type.

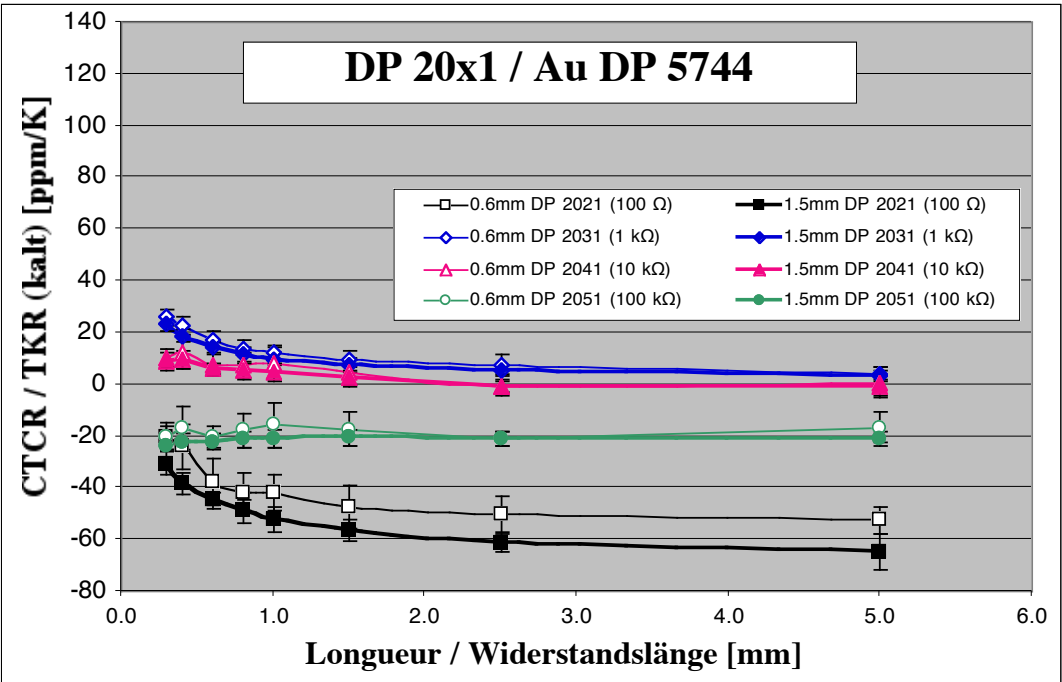


Figure 3–6. Coefficient en température à froid *CTCR* de la série DP 20x1 (sans couche de protection), en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au). Barres d’erreur = écart-type.

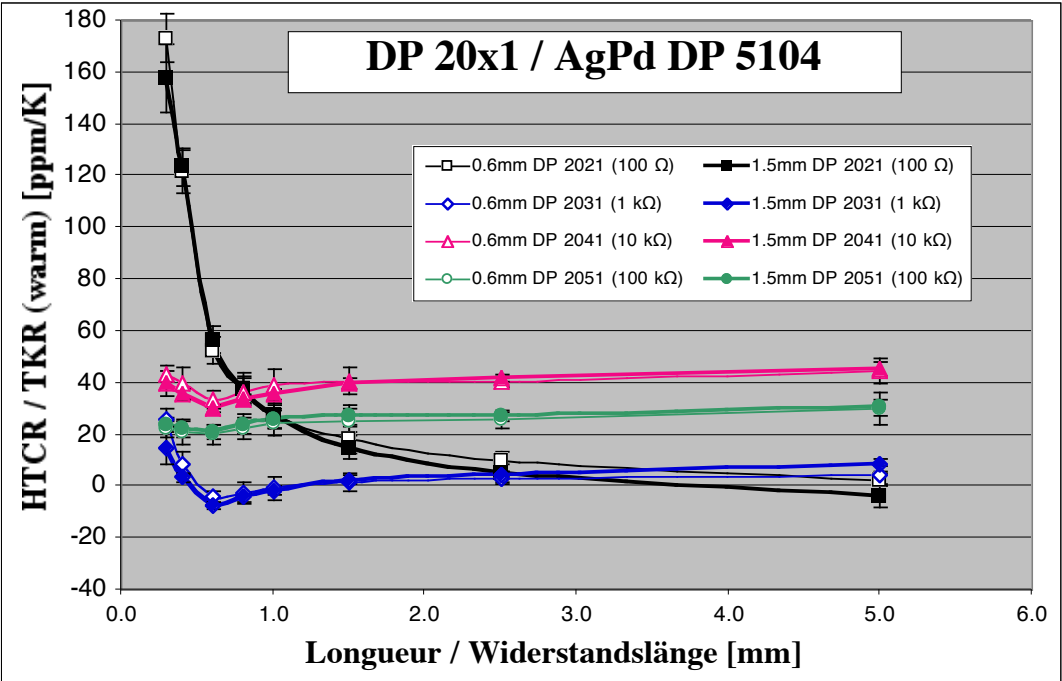


Figure 3–7. Coefficient en température à chaud *HTCR* de la série DP 20x1 (sans couche de protection), en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1). Barres d'erreur = écart-type.

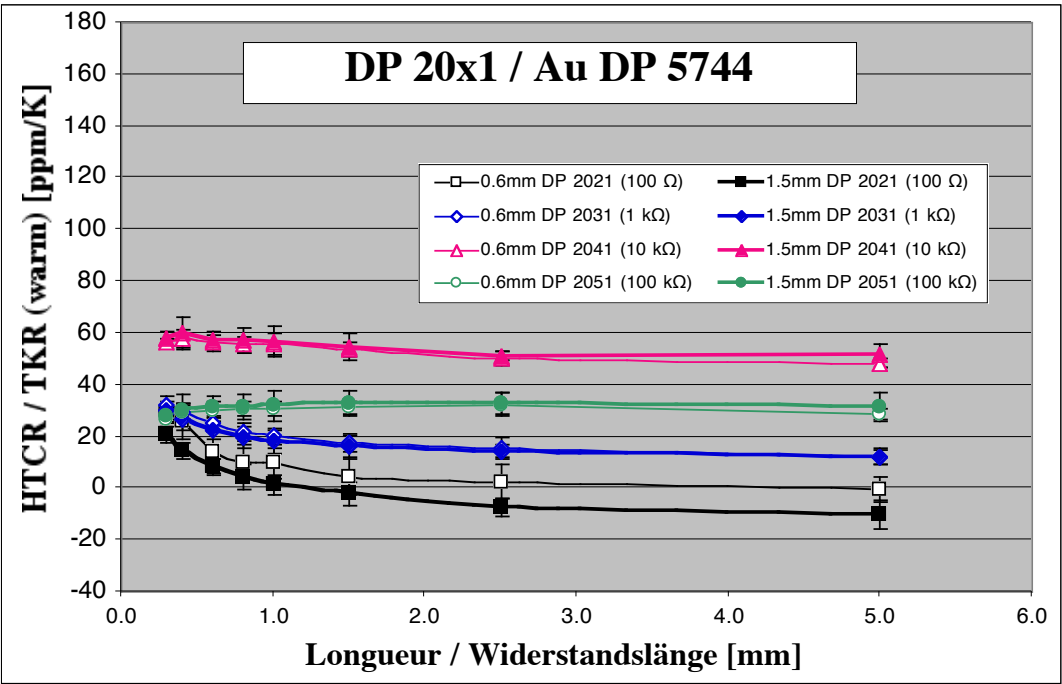


Figure 3–8. Coefficient en température à chaud *HTCR* de la série DP 20x1 (sans couche de protection), en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au). Barres d'erreur = écart-type.

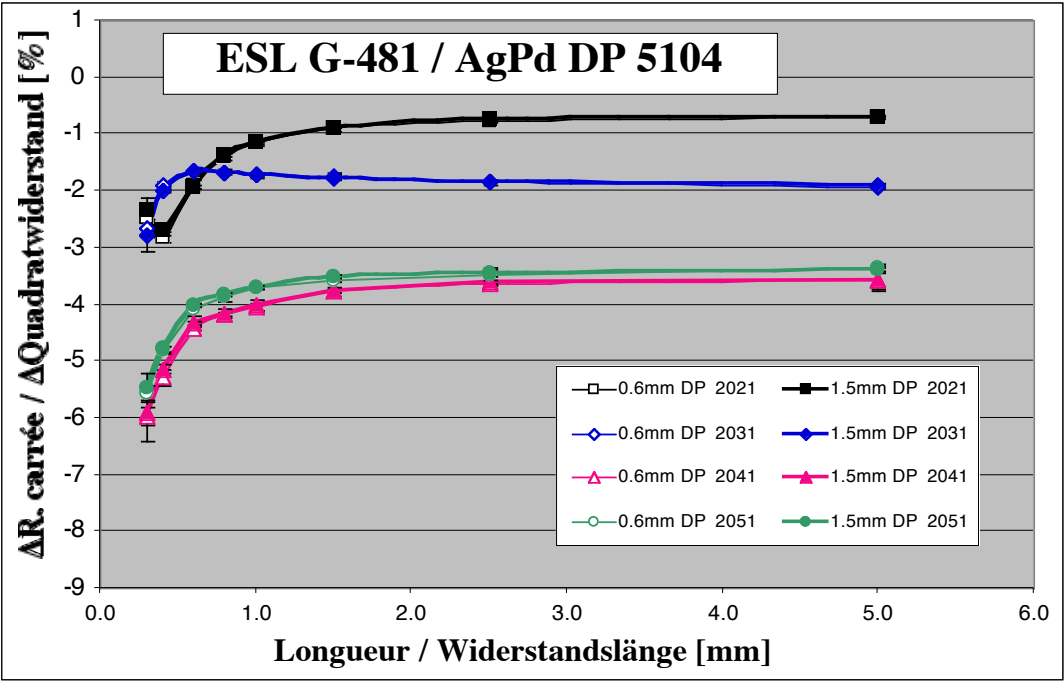


Fig. 3–9. Variation de la résistance carrée de la série DP 20x1 due au verrage ESL G–481, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1). Barres d’erreur = écart-type.

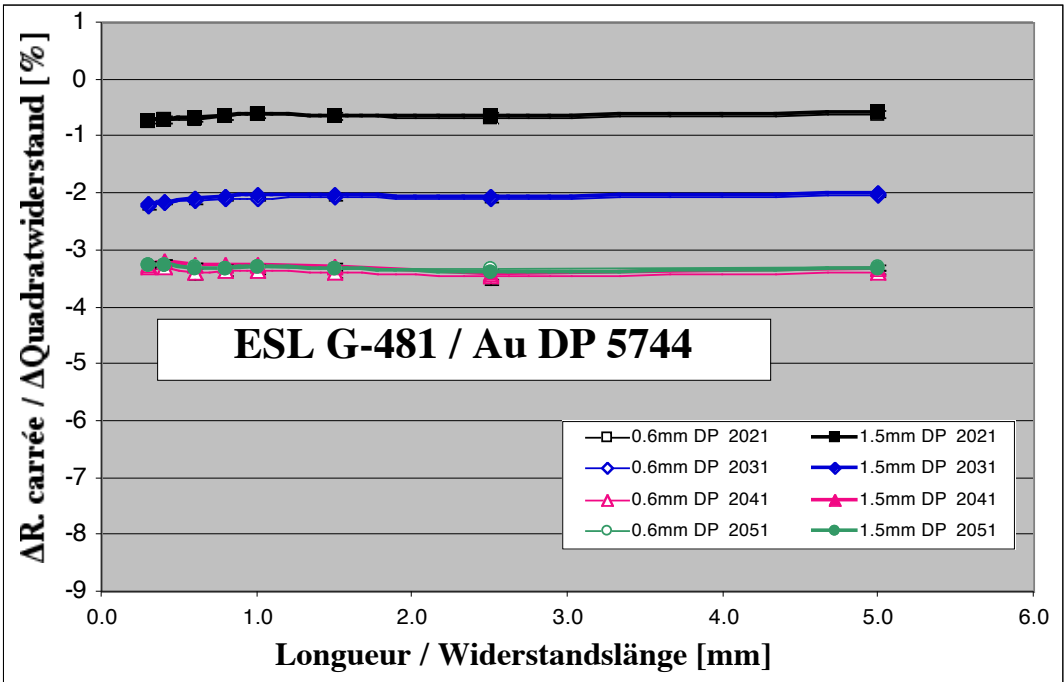


Fig. 3–10. Variation de la résistance carrée de la série DP 20x1 due au verrage ESL G–481, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au). Barres d’erreur = écart-type.

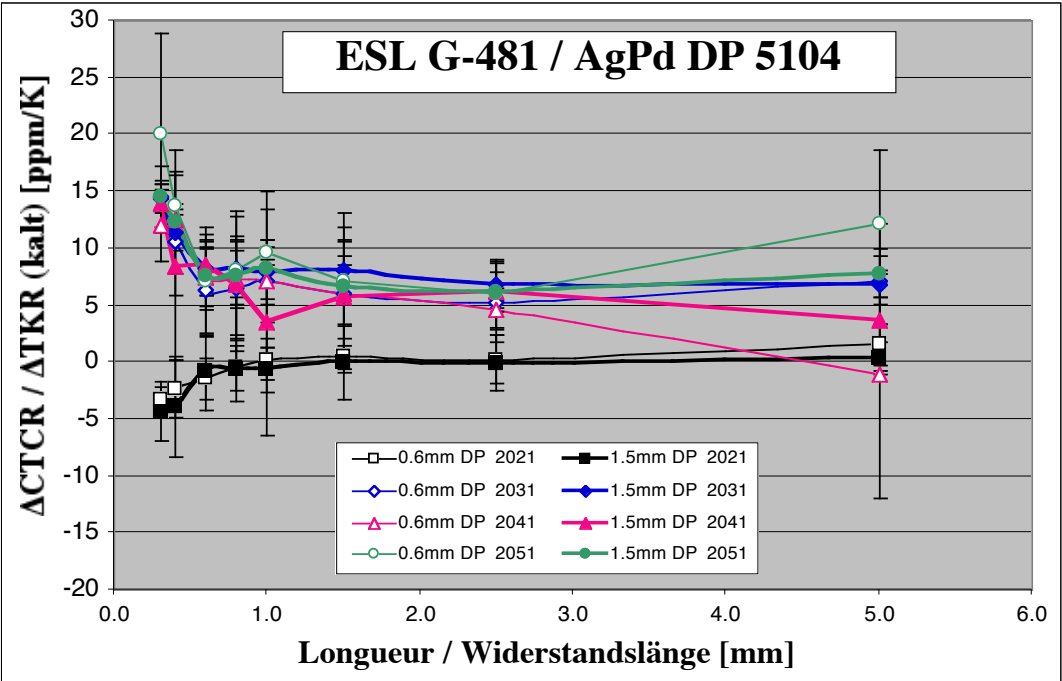


Fig. 3–11. Variation du coefficient en température à froid (*CTCR*) de la série DP 20x1 due au verrage ESL G–481, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1).
Barres d’erreur = écart-type.

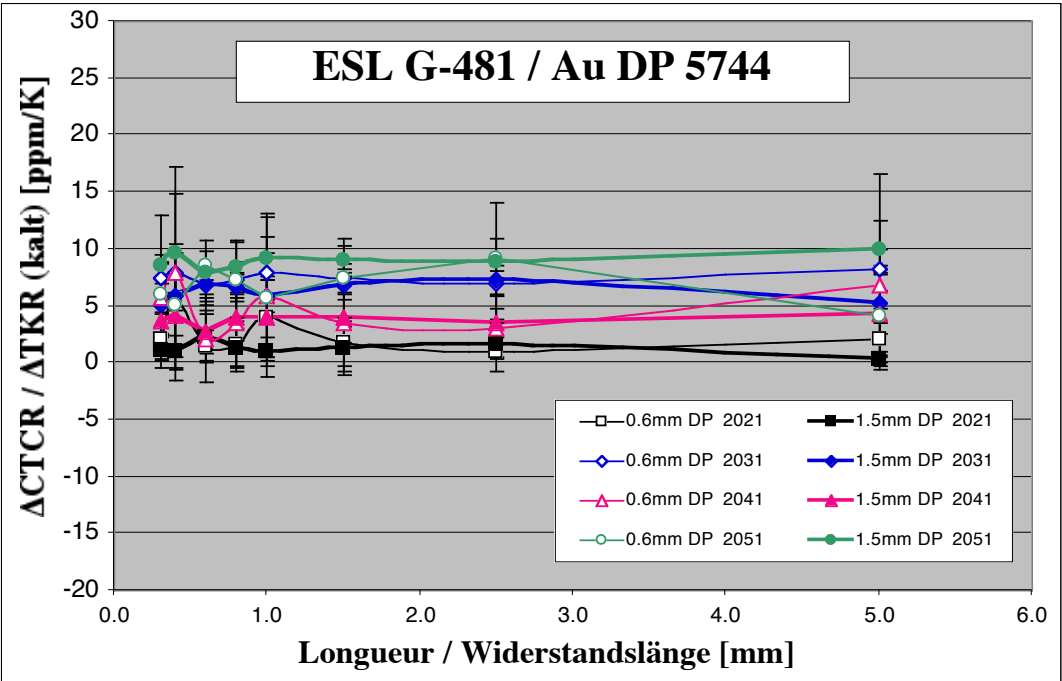


Fig. 3–12. Variation du coefficient en température à froid (*CTCR*) de la série DP 20x1 due au verrage ESL G–481, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au).
Barres d’erreur = écart-type.

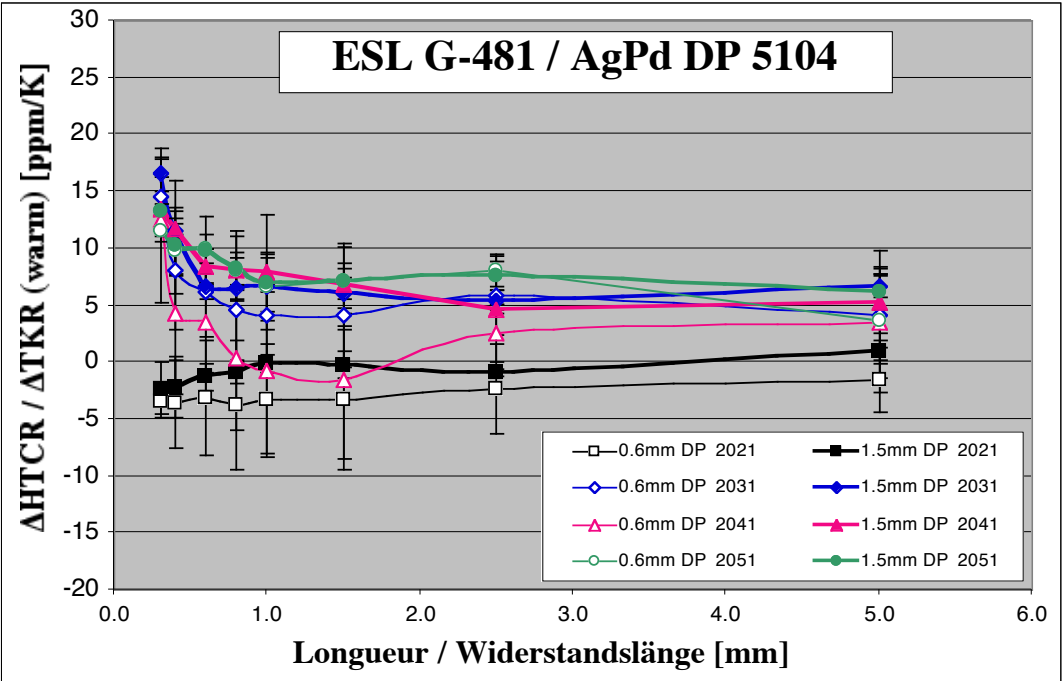


Fig. 3–13. Variation du coefficient en température à chaud (*HTCR*) de la série DP 20x1 due au verrage ESL G–481, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1).
Barres d'erreur = écart-type.

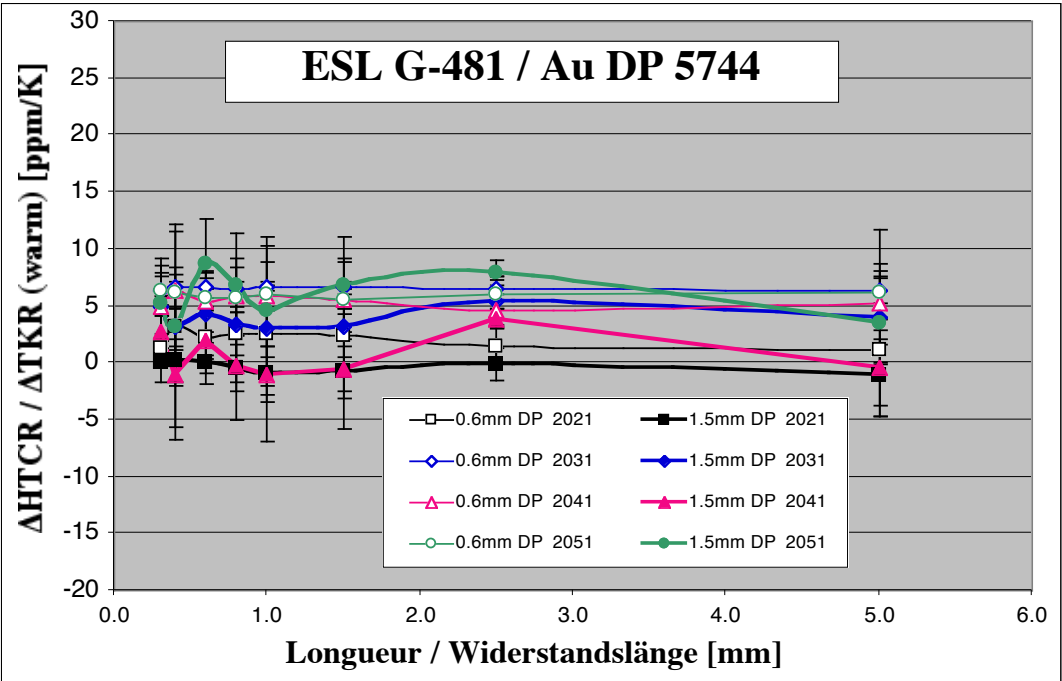


Fig. 3–14. Variation du coefficient en température à chaud (*HTCR*) de la série DP 20x1 due au verrage ESL G–481, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au).
Barres d'erreur = écart-type.

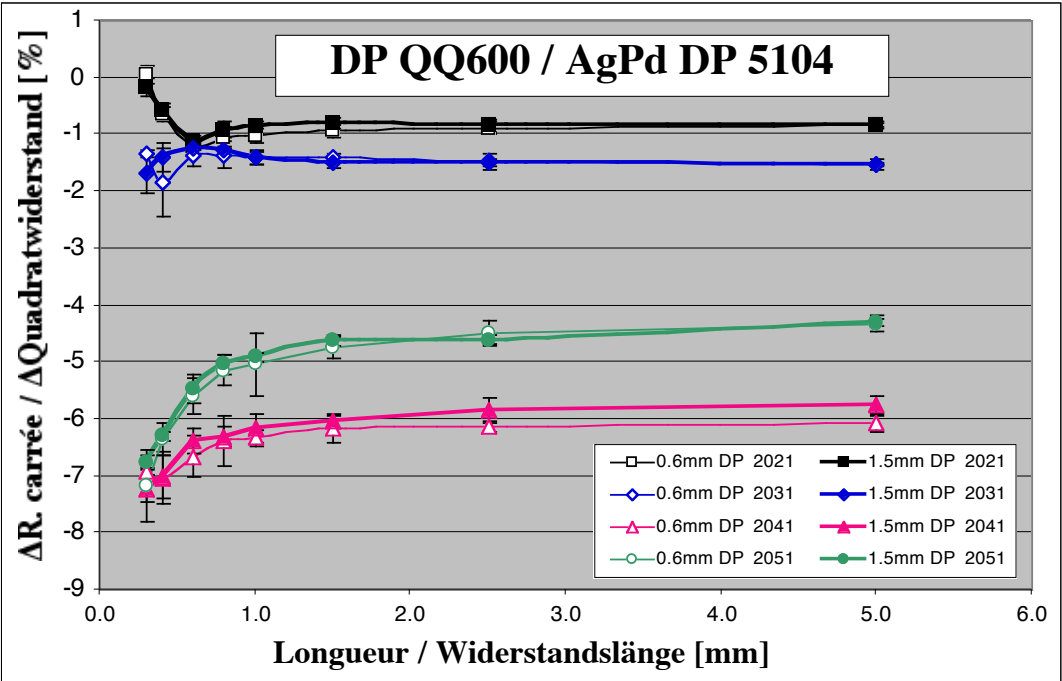


Fig. 3–15. Variation de la résistance carrée de la série DP 20x1 due au verrage DP QQ600, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1). Barres d'erreur = écart-type.

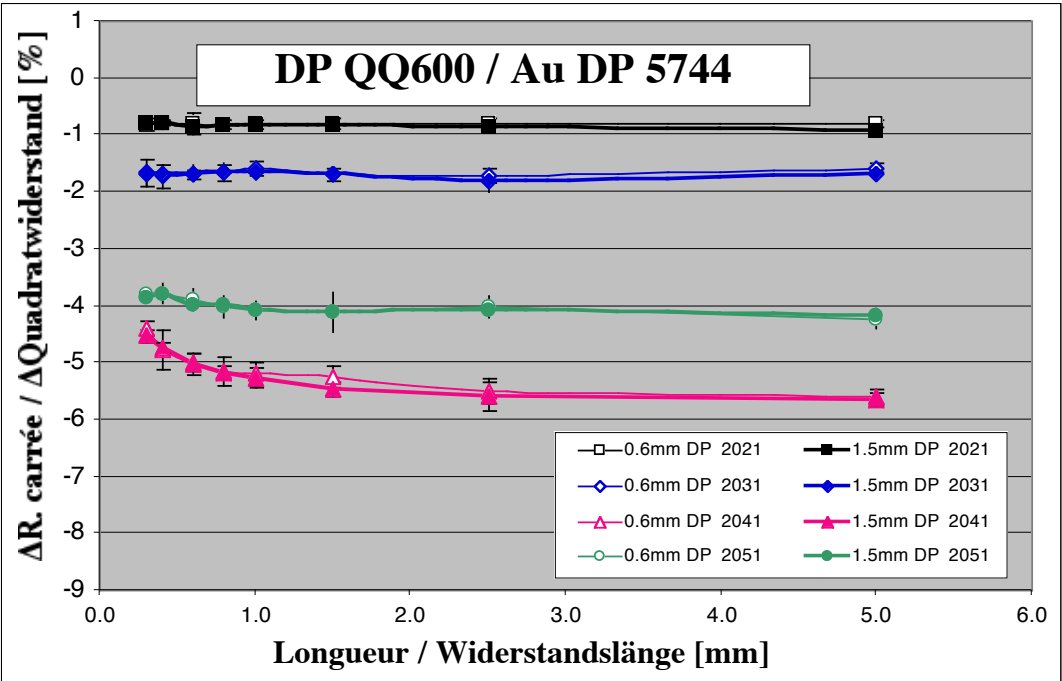


Fig. 3–16. Variation de la résistance carrée de la série DP 20x1 due au verrage DP QQ600, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au). Barres d'erreur = écart-type.

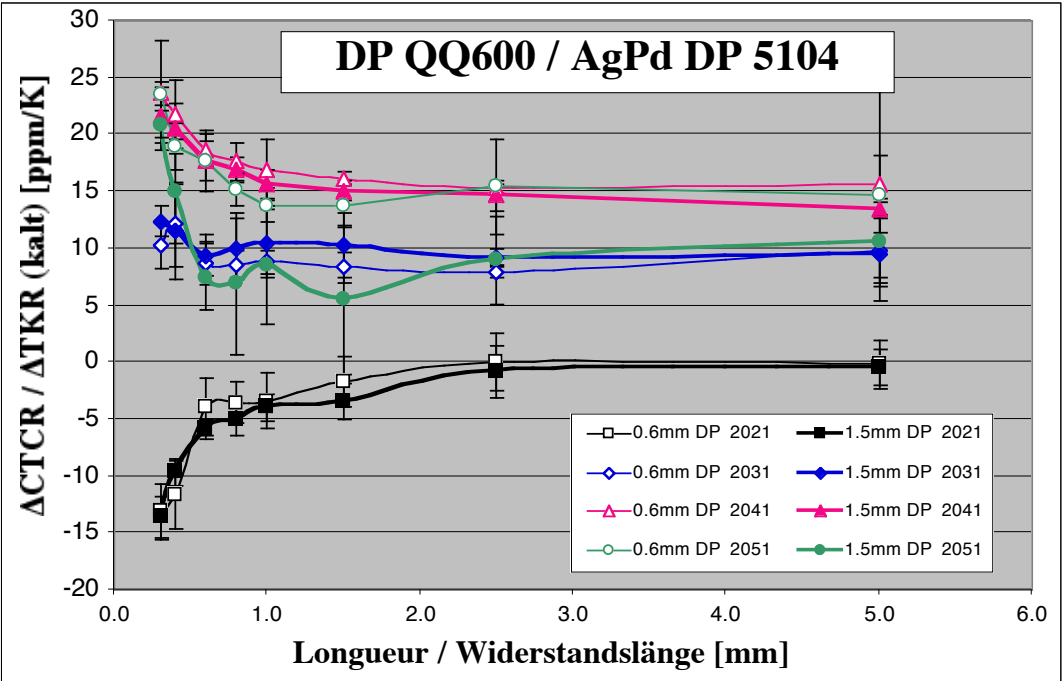


Fig. 3–17. Variation du coefficient en température à froid (CTCR) de la série DP 20x1 due au verrage DP QQ600, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1).
Barres d'erreur = écart-type.

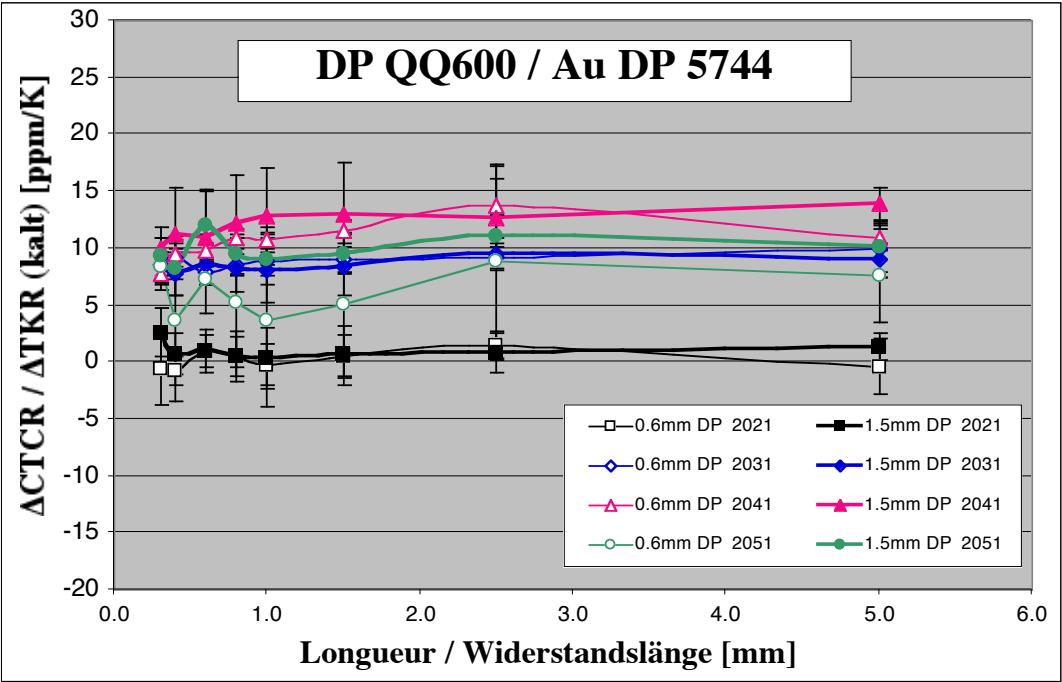


Fig. 3–18. Variation du coefficient en température à froid (CTCR) de la série DP 20x1 due au verrage DP QQ600, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au).
Barres d'erreur = écart-type.

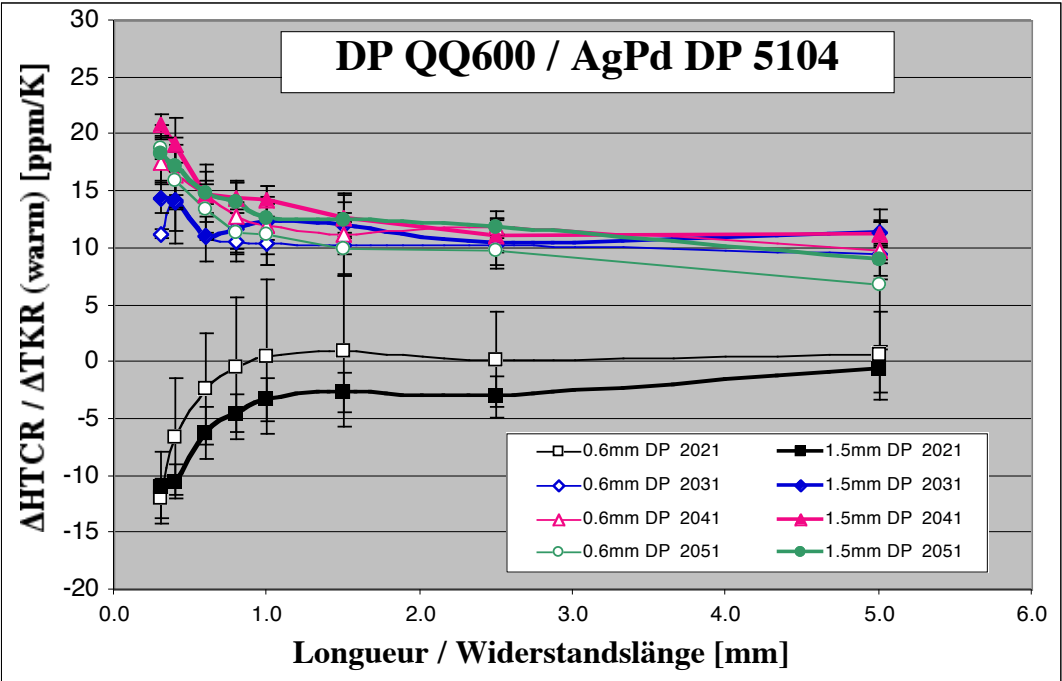


Fig. 3–19. Variation du coefficient en température à chaud (*HTCR*) de la série DP 20x1 due au verrage DP QQ600, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1).
Barres d'erreur = écart-type.

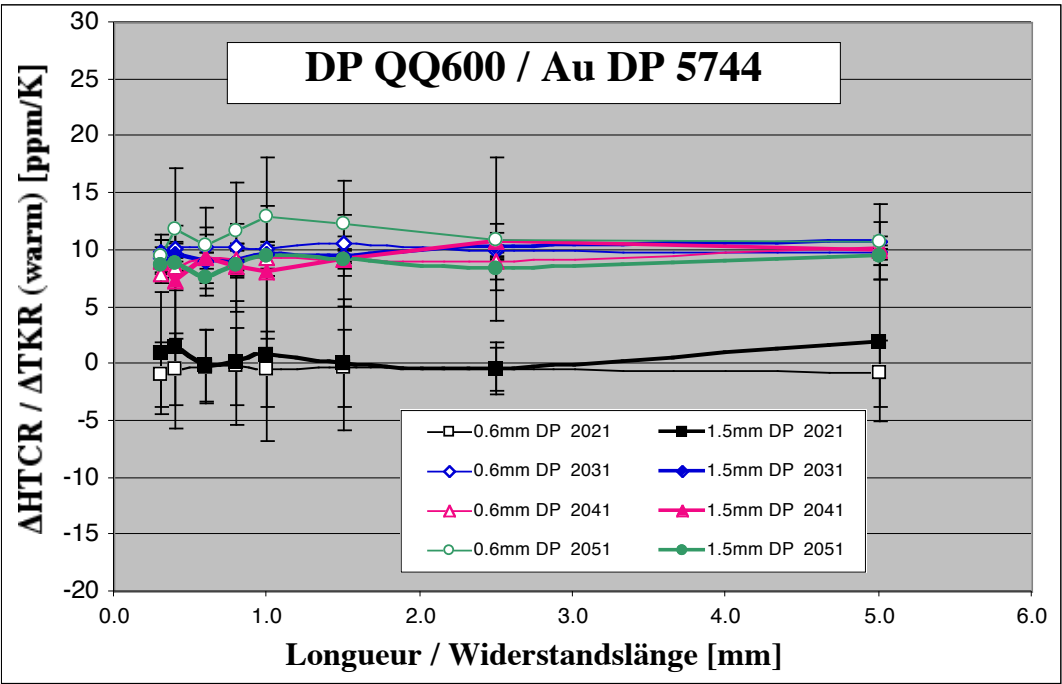


Fig. 3–20. Variation du coefficient en température à chaud (*HTCR*) de la série DP 20x1 due au verrage DP QQ600, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au).
Barres d'erreur = écart-type.

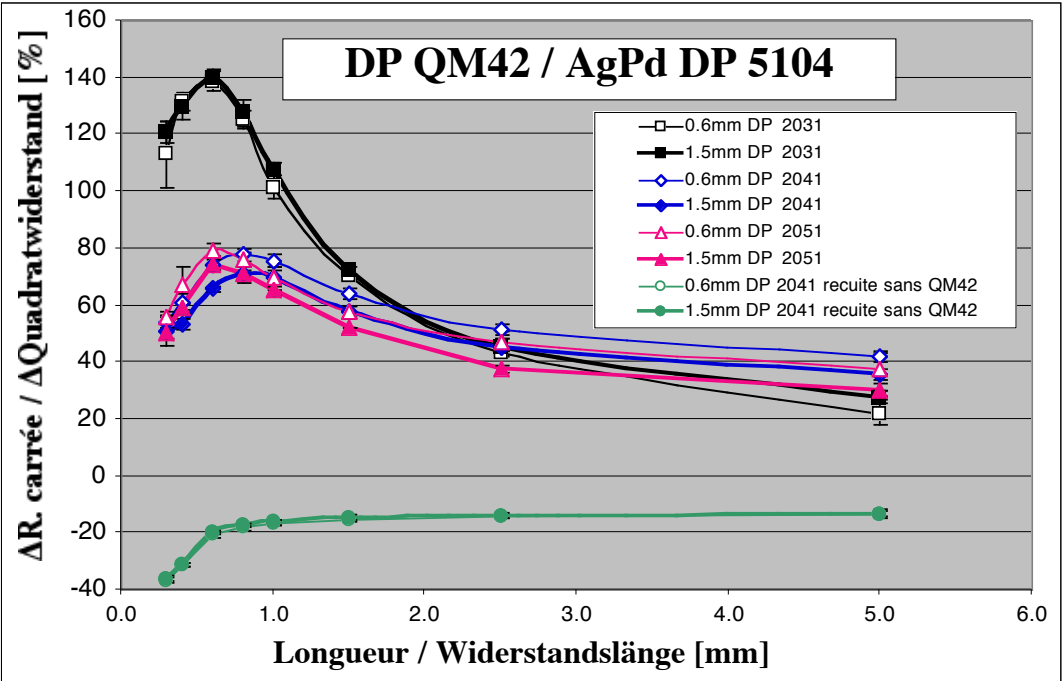


Fig. 3–21. Variation de la résistance carrée de la série DP 20x1 due au diélectrique DP QM42, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1). Barres d'erreur = écart-type.

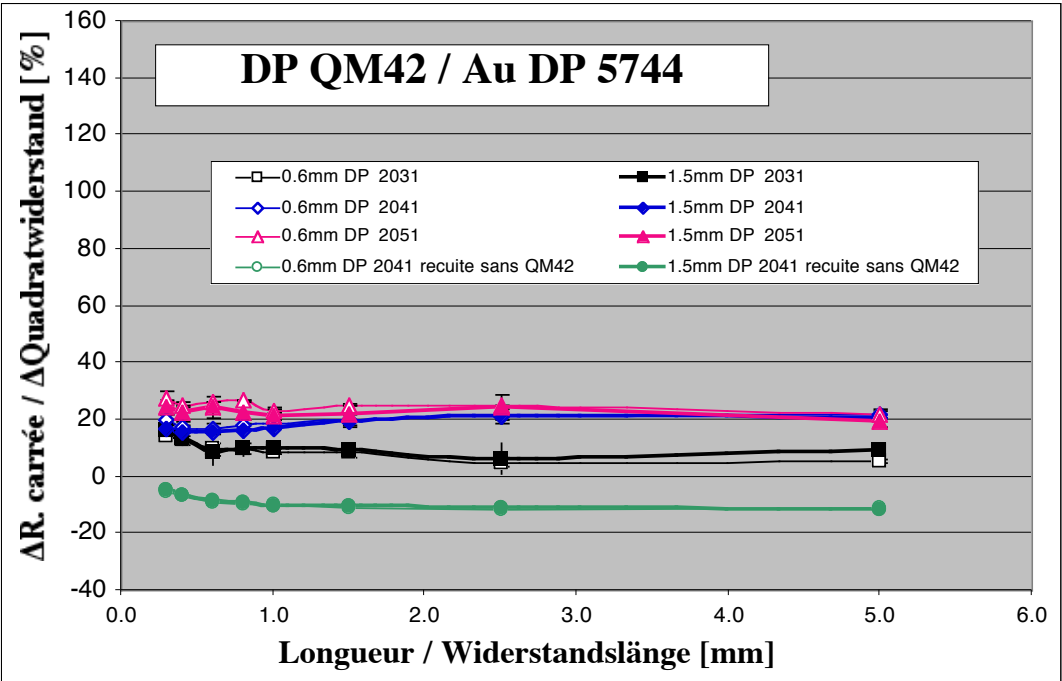


Fig. 3–22. Variation de la résistance carrée de la série DP 20x1 due au diélectrique DP QM42, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au). Barres d'erreur = écart-type.

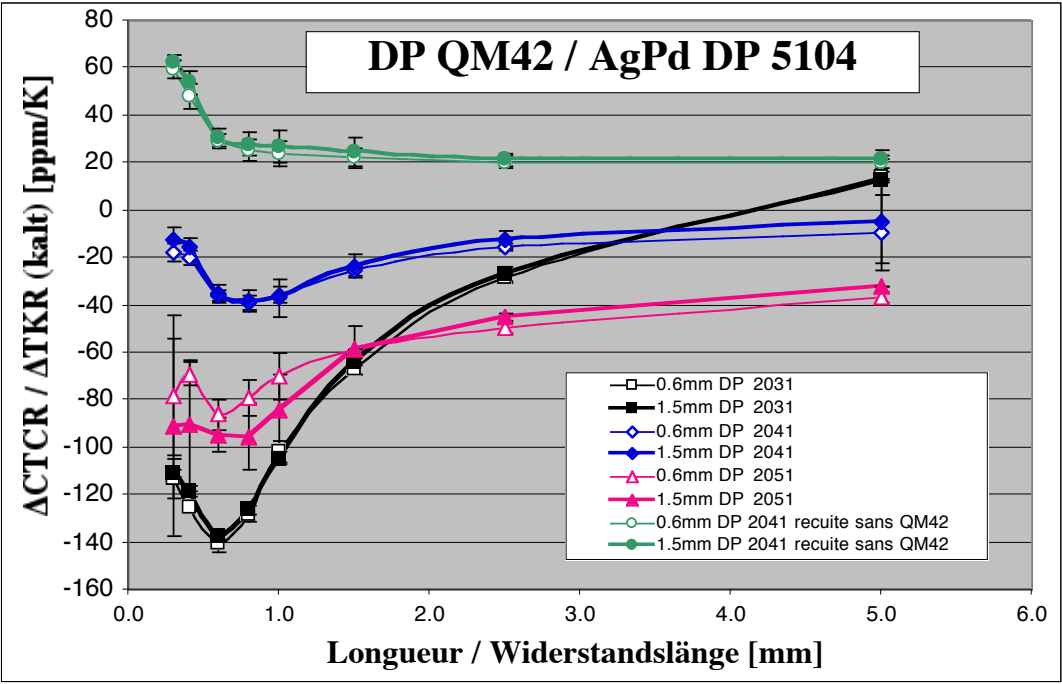


Fig. 3–23. Variation du coefficient en température à froid (*CTCR*) de la série DP 20x1 due au diélectrique DP QM42, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1).
Barres d'erreur = écart-type.

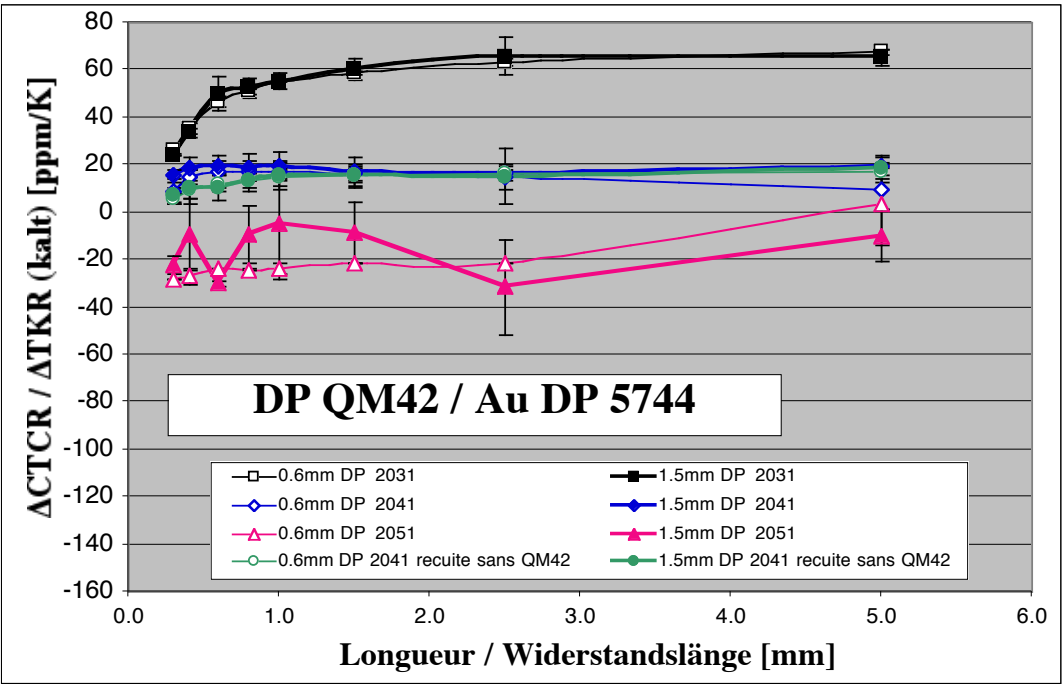


Fig. 3–24. Variation du coefficient en température à froid (*CTCR*) de la série DP 20x1 due au diélectrique DP QM42, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au).
Barres d'erreur = écart-type.

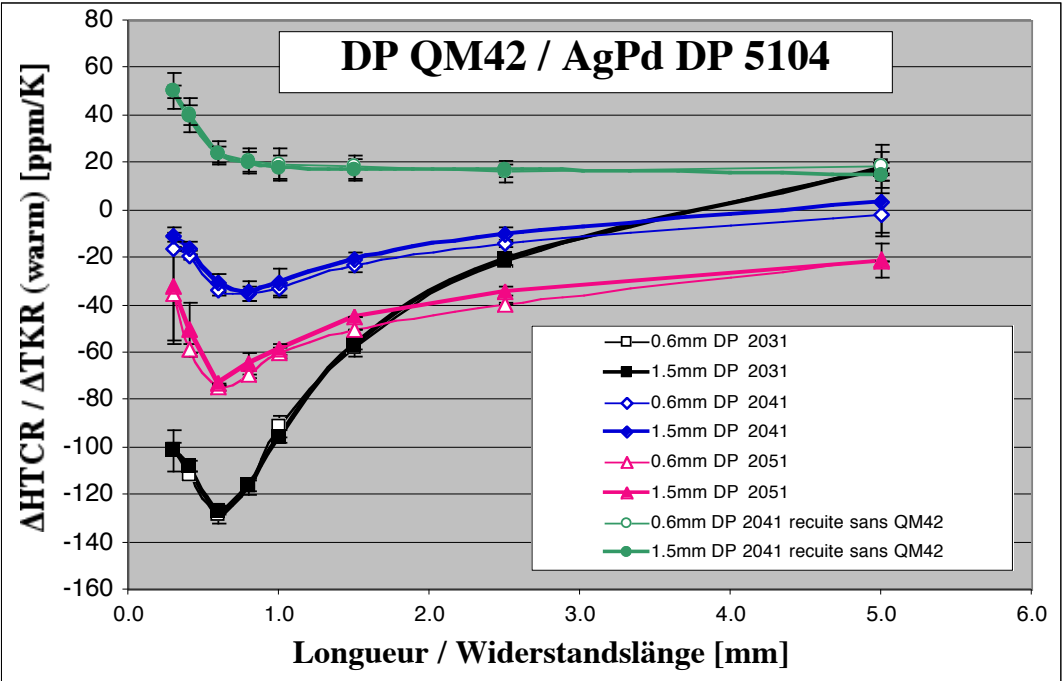


Fig. 3–25. Variation du coefficient en température à chaud (*HTCR*) de la série DP 20x1 due au diélectrique DP QM42, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5104 (Ag:Pd 3:1).
Barres d'erreur = écart-type.

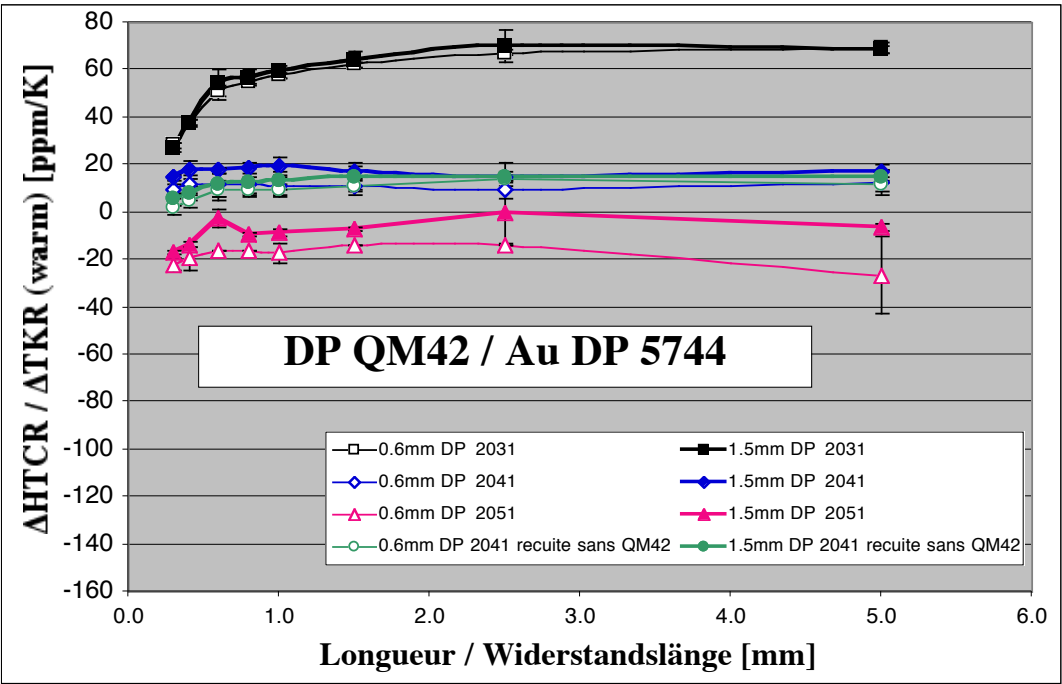


Fig. 3–26. Variation du coefficient en température à chaud (*HTCR*) de la série DP 20x1 due au diélectrique DP QM42, en fonction de la longueur et de la largeur. Terminaison = DP 5744 (Au).
Barres d'erreur = écart-type.

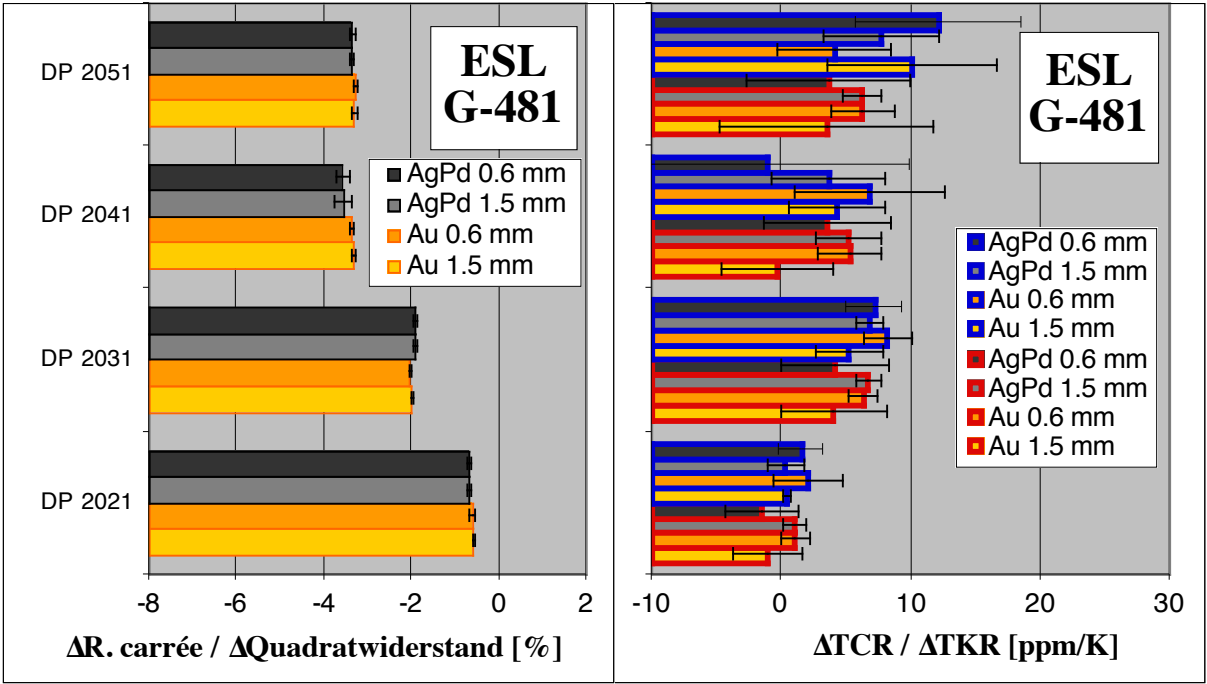


figure 3–27. Variations de résistance carrée et de coefficients en température dues au verrage ESL G–481, pour les résistances de longueur 5 mm. *CTCR* : bord bleu ; *HTCR* : bord rouge.

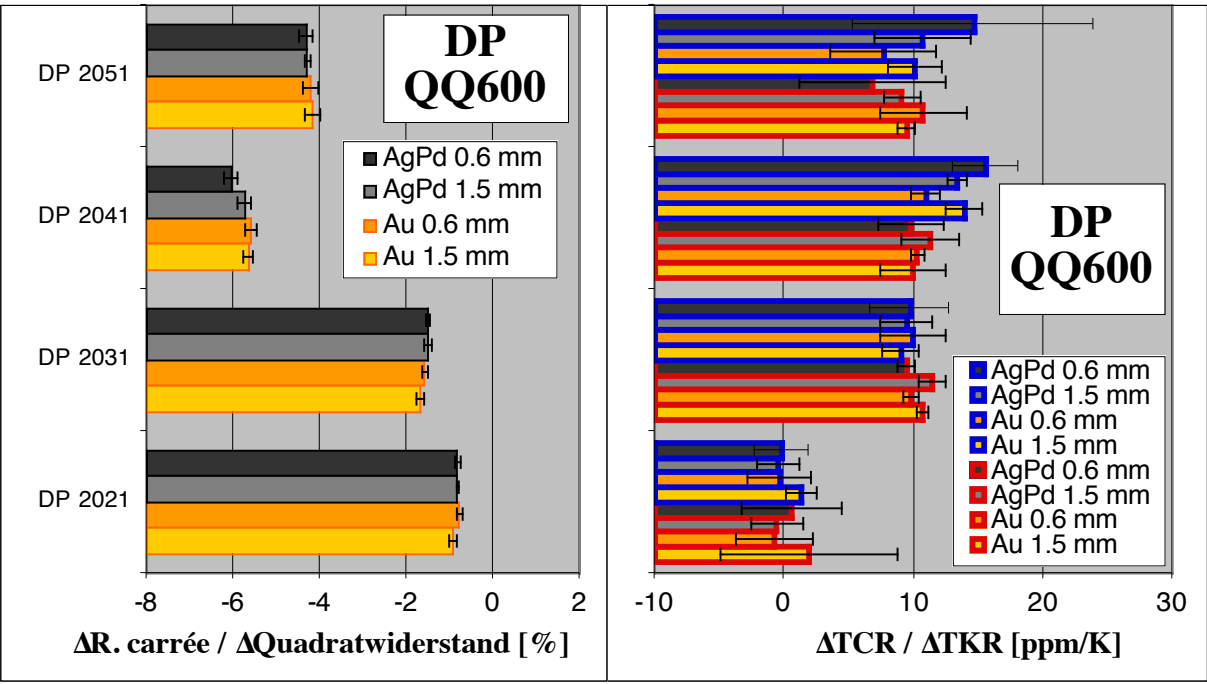


figure 3–28. Variations de résistance carrée et de coefficients en température dues au du verrage DP QQ600, pour les résistances de longueur 5 mm. *CTCR* : bord bleu ; *HTCR* : bord rouge.

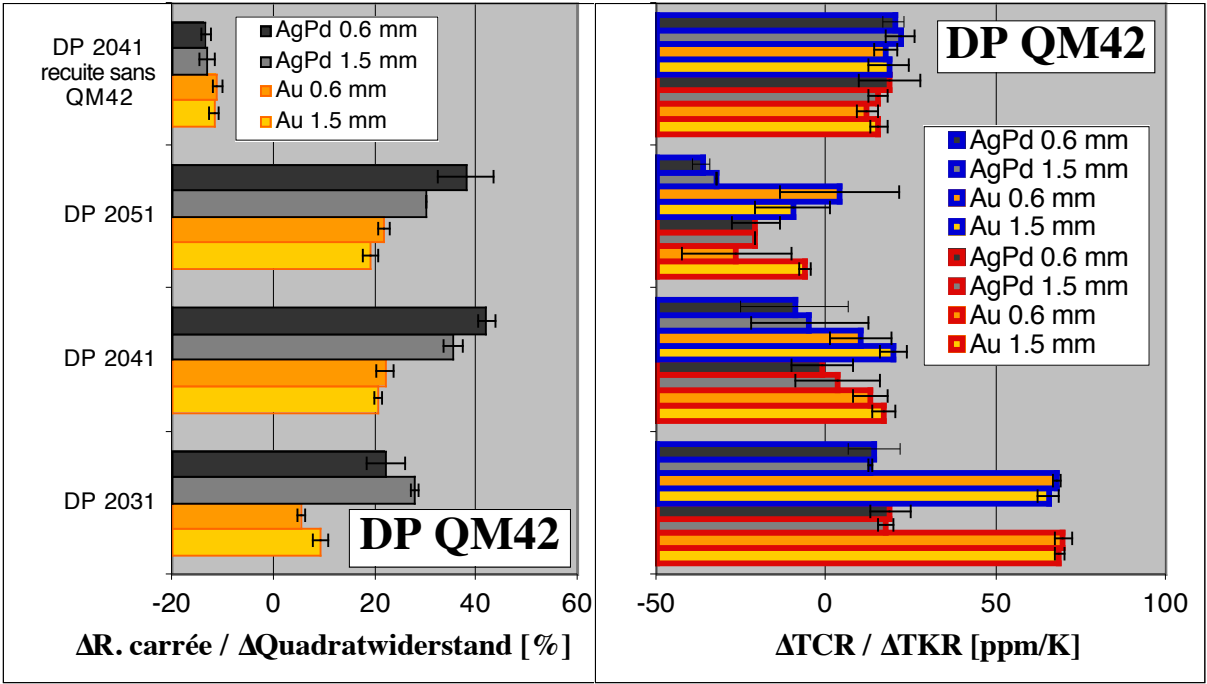


figure 3–29. Variations de résistance carrée et de coefficients en température dues au du verrage DP QQ600, pour les résistances de longueur 5 mm. *CTCR* : bord bleu ; *HTCR* : bord rouge.

4. Conclusions

L’objet de cette étude était la caractérisation de l’effet de 3 couches protectrices (les deux verrages ESL G–481 et DP QQ600, ainsi que le diélectrique multicouches DP QM42) sur les propriétés des compositions résistives DP 20x1 (DP 2021, 2031, 2041 et 2051, de 100 Ω à 100 kΩ).

Les deux verrages sont bien compatibles avec ces résistances ; ils n’occasionnent que de légères variations des caractéristiques : une baisse de quelques % de la valeur, et une augmentation de $\leq 15 \text{ ppm/K}$ du coefficient en température. De plus, comme ces effets sont très reproductibles, les ajustements grossiers des ponts réalisés avant verrage seront probablement bien conservés d’après ces résultats. Ces résultats doivent toutefois encore être confirmés dans le cas de résistances ajustées par laser.

En revanche, le diélectrique DP QM42 exerce une forte influence sur les résistances, et semble incompatible avec la combinaison DP 20x1 / DP 5104 (Ag :Pd 3 :1) : on observe des *blisters* aux terminaisons. Avec DP 5744 (Au), quelques problèmes isolés avec les caractéristiques électriques ont été observés, mais sont probablement dus à la mesure. L’effet de terminaison est à peu près inexistant, et les variations de valeur sont assez reproductibles, à la limite de l’utilisable pour une application « hermétique » : entre +5% et +20%. Le coefficient en température est fortement touché pour les valeurs faibles (DP 2031 : +60 ppm/K), mais modérément pour les valeurs élevées (DP 2041 : +20 ppm/K ; DP 2051 : -10 ppm/K). On pourrait donc éventuellement utiliser DP QM42 pour un pont DP 2041 / DP 2051 immergé avec terminaisons or, mais des qualifications supplémentaires sont nécessaires (fiabilité, étanchéité, etc.).